

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-261713

(43)公開日 平成8年(1996)10月11日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B	9/02		G 0 1 B	9/02
G 0 2 B	6/30		G 0 2 B	6/30

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平7-62783

(22)出願日 平成7年(1995)3月22日

(71)出願人 000183303

住友金属鉱山株式会社

東京都港区新橋5丁目11番3号

(72)発明者 渡辺 章夫

東京都青梅市末広町1丁目6番1号 住友

金属鉱山株式会社中央研究所内

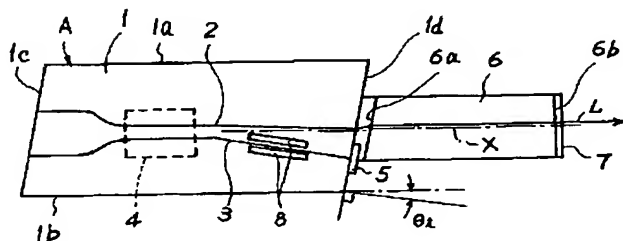
(74)代理人 弁理士 篠原 泰司

(54)【発明の名称】 光導波路型変位センサ

(57)【要約】

【目的】光導波路基板と屈折率分布型レンズを備える光導波路型変位センサにおいて、測定光の集光特性に優れ、かつ、前記基板とレンズとの境界面に反射防止膜を施すことなく、測定光の減衰低減を可能にする。

【構成】光導波路基板Aの一端面は斜面1dとして形成され、該斜面には測定光用入出力端が形成されている。光軸中心線が光導波路基板Aの長手方向Xと一致するように配置されている屈折率分布型レンズ6の一端面6aは斜面1dに平行に、他方の端面6bは光軸中心線に対して垂直に形成されている。屈折率分布型レンズの端面6bには反射防止膜7が形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 長手方向の両端面のうち少なくとも一方の端面を該長手方向に対して斜面とし、該斜面に測定光用入出力端を形成した光導波路基板と、前記光導波路基板の前記測定光用入出力端との間で光の伝達が行えるように配置された屈折率分布型レンズとを備え、前記屈折率分布型レンズはその光軸中心線が前記光導波路基板の長手方向と一致するように配置され、前記屈折率分布型レンズの端面のうち前記光導波路基板に相対する端面は前記光導波路基板の斜面と平行に、かつ、他方の端面は該屈折率分布型レンズの光軸中心線に対して垂直に形成されており、前記屈折率分布型レンズの他方の端面には反射防止膜が形成されていることを特徴とする光導波路型変位センサ。

【請求項 2】 前記光導波路基板の斜面として形成されている端面の法線と光導波路基板の長手方向とのなす角度  $\theta_1$  と、測定光の入出力用光導波路が前記光導波路基板の斜面として形成されている端面の法線となす角度  $\theta_2$  が式 (1) を満たすように形成されており、且つ、前記屈折率分布型レンズの端面のうち前記光導波路基板端面に相対する端面の法線と屈折率分布型レンズの長手方向のなす角度が前記角度  $\theta_1$  と等しいことを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路型変位センサ。

$$n_2 \sin(\theta_2) = n_1 \sin(\theta_1) \quad (1)$$

ただし、 $n_1$  は屈折率分布型レンズの屈折率、 $n_2$  は光導波路基板の屈折率である。

【請求項 3】 前記光導波路基板と前記屈折率分布型レンズとは透明な接着剤で接着されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光導波路型変位センサ。

【請求項 4】 前記光導波路基板の表面には少なくとも光導波路と方向性結合器が形成されており、前記光導波路基板の長手方向の両端面のうち、測定光入出力端が形成されている斜面である端面には参照光用反射鏡が形成され、他方の端面には光源光用入力端と干渉信号光用出力端とが形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の光導波路型変位センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光学的干渉により被測定物の変位を測定する光導波路型変位センサに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光学的干渉計を用いて被測定物の変位を測定する方法の一つとして、マイケルソン干渉計の原理を利用した光導波路型変位センサがある。ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) やタンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ ) などの電気光学結晶基板上にマイケルソン干渉計を形成すると、複雑な光学系の位置合わせが不要であり、かつ、小型の変形計を実現することができる。マイケルソン干渉計で

は、測定光の光軸と直角な境界面が存在すると、境界面からの反射光が被測定物からの反射光に混入し、測定精度を低下させる。

【0003】 そこで、光導波路型変位センサにおいては、測定光用入出力端面を斜面にして境界面からの反射光を十分に抑制する必要がある。しかし、光導波路からの出射光は屈折のため光導波路基板の長手方向と平行にはならず、集光レンズを該出射光の光軸に一致させると、測定光の被測定物への入射方向が光導波路基板の長手方向と一致しなくなり、組み立てが困難になるとともに、被測定物に対する光導波路型変位センサの位置決めが困難になるという問題を生じる。

【0004】 この問題を解決するために、屈折率分布型レンズの一方の端面を斜めに研磨する方法がある。このような技術としては、例えば、本出願人が特願平 6 - 1 6 5 4 4 において提案したものがある。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述の方法においては、屈折率分布型レンズの斜面とする端面が被測定物に相対する面である場合には、レンズの収差が大きくなり、測定光の集光特性が低下するという問題点がある。集光特性が低下するということは、被測定物の変位を測定する際の横分解能が得られないことを意味する。また、屈折率分布型レンズの斜面とする端面が光導波路基板に相対する面である場合には、屈折率分布型レンズの収差を押さえ、集光特性を良好に保つためには、測定光の光軸と屈折率分布型レンズの光軸中心線とを一致させる必要がある。

【0006】 そのためには、光導波路基板と屈折率分布型レンズとを光導波路基板の長手方向とそれに垂直な方向及び両者の回転方向の三方向に精密に位置合わせを行うことができるケースを作製しなければならず、ケースの製造コストを上昇させるという問題点を有していた。

【0007】 また、従来、測定光の減衰を低減させるためには、光導波路端面と屈折率分布型レンズの両斜面にも反射防止膜を施す必要があったが、細密な光学部品端面への反射防止膜の形成は製品のコストを高くするという問題点があった。

【0008】 本発明はこのような問題点を鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、光導波路基板と屈折率分布型レンズとを備えた光導波路型変位センサにおいて、屈折率分布型レンズによる測定光の集光特性に優れ、かつ、光導波路基板と屈折率分布型レンズの両斜面に反射防止膜を施すことなく、測定光の減衰を低減することができる製造コストの安価な光導波路型変位センサを提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】 この目的を達成するため、本発明に係る光導波路型変位センサは、長手方向の両端面のうち少なくとも一方の端面を該長手方向に対し

て斜面とし、該斜面に測定光用入出力端を形成した光導波路基板と、前記光導波路基板の前記測定光用入出力端との間で光の伝達が行えるように配置された屈折率分布型レンズとを備える。前記屈折率分布型レンズはその光軸中心線が前記光導波路基板の長手方向と一致するように配置されている。また、前記屈折率分布型レンズの端面のうち前記光導波路基板に相対する端面は前記光導波路基板の斜面と平行に、かつ、他方の端面は該屈折率分布型レンズの光軸中心線に対して垂直に形成されており、前記屈折率分布型レンズの他方の端面には反射防止膜が形成されている。

【 0 0 1 0 】本発明の好ましい実施態様においては、測定光の入出力用光導波路が前記光導波路基板の斜面として形成されている端面の法線に対して式 ( 1 ) を満たす角度  $\theta_v$  をなすように形成される。

$$n_v \sin(\theta_v) = n_1 \sin(\theta_1) \quad (1)$$

【 0 0 1 1 】ただし、式 ( 1 ) において、 $n_1$  は屈折率分布型レンズの屈折率、 $n_v$  は光導波路基板の屈折率、 $\theta_1$  は光導波路基板の斜面として形成されている端面の法線と光導波路基板の長手方向とのなす角度である。

【 0 0 1 2 】また、前記光導波路基板と前記屈折率分布型レンズとは透明な接着剤で接着されることが好ましい。また、前記光導波路基板の表面には少なくとも光導波路と方向性結合器が形成されており、前記光導波路基板の長手方向の両端面のうち、測定光入出力端が形成されている斜面である端面には参照光用反射鏡が形成され、他方の端面には光源光用入力端と干渉信号光用出力端とが形成されている。

【 0 0 1 3 】

【作用】光源から出射された光は、光導波路基板内の方向性結合器で二つの光導波路に分岐され、光導波路基板の長手方向に対して斜面として形成されている端面に導かれる。一方の光はこの端面に設けられている参照光用反射鏡により反射され、参照光として再び方向性結合器に戻る。他方の光は斜面として形成されている端面で屈折し、屈折率分布型レンズに入射する。

【 0 0 1 4 】このとき、前記光導波路基板の斜面として形成されている端面の法線と光導波路基板の長手方向とのなす角度  $\theta_1$  と、測定光の入出力用光導波路が前記光導波路基板の斜面として形成されている端面の法線となす角度  $\theta_v$  が式 ( 1 ) を満たすように形成されており、且つ屈折率分布型レンズの端面のうち前記光導波路基板端面に相対する端面の法線と屈折率分布型レンズの長手方向のなす角度が前記角度  $\theta_1$  と等しくなっていると、光導波路基板の長手方向から斜めに出射された測定光を、屈折率分布型レンズ端面において屈折させ、測定光の進行方向を光導波路基板の長手方向に平行な方向に変えることができるようになる。

【 0 0 1 5 】さらに、光導波路基板の長手方向と光導波路基板端面 ( 斜面 ) の法線とがなす角度は、屈折率分布

型レンズの長手方向と屈折率分布型レンズ端面 ( 斜面 ) の法線とがなす角度と同じであるため、光導波路基板と屈折率分布型レンズとを密着させて接着することができる。この場合、接着剤として紫外線硬化樹脂等の透明な樹脂を使用すれば、接着剤自身の屈折率が屈折率分布型レンズに近いので、反射が抑制され、光導波路基板と屈折率分布型レンズ双方の斜面の反射防止膜を省略しても透過率を高く保つことができる。

【 0 0 1 6 】ここで、変位測定精度に悪影響を与える光導波路基板端面からの反射戻り光強度は、光導波路と光導波路基板端面 ( 斜面 ) とのなす角度  $\theta_v$  に大きく依存し、角度  $\theta_v$  を大きくするほど、反射戻り光が有効に減衰される。ニオブ酸リチウム基板にプロトン交換法によって形成した光導波路で角度  $\theta_v$  を変化させて反射戻り光の強度を測定すると、図 3 のような関係が得られる。図 3 からわかるように、角度  $\theta_v$  は反射戻り光強度が変位測定精度に悪影響を及ぼさない - 5 0 d B 以下に抑制できる 5 度以上であることが望ましい。

【 0 0 1 7 】しかしながら、式 ( 1 ) によれば、角度  $\theta_v$  が大きくなるとともに、光導波路基板の長手方向と光導波路基板端面 ( 斜面 ) の法線のなす角度  $\theta_1$  も大きくなる。角度  $\theta_1$  が極端に大きくなると収差が顕著になり、測定光 L の集光特性が悪化し、横方向の分解能の劣化につながる。このため、角度  $\theta_1$  は必要最低限の角度にすることが望ましい。角度  $\theta_v$  と式 ( 1 ) を満たす角度  $\theta_1$  を与えるプリズム ( 屈折率分布型レンズと同一の形状を有し、屈折率の分布が付いていないもの ) と、プリズムから出射された測定光を集光するための収差のないレンズを仮定したときの焦点のボケから、屈折率分布型レンズのプリズム硬化による収差を評価することができる。そこで、このような光学系を想定して光線追跡法による計算機シミュレーションを行ったところ、図 4 のような結果を得た。ただし、光導波路基板端面から出射される測定光の広がり角を実測値に照らして半角で 0 . 0 5 r a d、光導波路基板端面からプリズムまでの距離を 1 m m、プリズムの屈折率を 1 . 5 5 7 とした。例えば、このような条件下でボケを 1  $\mu$  m 以下とするためには、角度  $\theta_1$  は 1 3 度以下でなければならない。また、ここで光導波路基板端面 ( 斜面 ) からプリズムまでの距離は小さいほど収差が小さくなる。従って、光導波路基板と屈折率分布型レンズの接着は収差の観点からも有効である。

【 0 0 1 8 】屈折率分布型レンズの他方の端面に達した測定光は被測定物に向けて出射され、被測定物から反射された光は前述の経路とは逆の経路を経て光導波路基板に入射する。光導波路基板に戻った測定光は参照光と干渉し、その干渉光は受光素子に向けて光導波路基板から出射される。この干渉光の強度変化を検出することにより、被測定物の変位を測定することができる。

【 0 0 1 9 】

【実施例】図1及び2は本発明に係る光導波路型変位センサの一実施例を示す。本実施例における光導波路基板Aはニオブ酸リチウム( $\text{LiNbO}_3$ )やタンタル酸リチウム( $\text{LiTaO}_3$ )などの電気光学結晶基板1からなり、基板1には光導波路2、3が形成されている。光導波路3には変調用電極8が設けられている。光導波路基板Aは長手方向Xに平行な二つの端面1a、1bと、長手方向Xに対して斜めに研磨加工された二つの端面1c、1dとを有している。光導波路3は端面1dに対して直角の角度をなして端面1dに達しており、端面1dには光導波路3の光を効率よく反射できる金属又は誘電体からなる反射鏡5が形成されている。光導波路2は端面1dに対して角度をなして形成されている。また、光導波路2、3には方向性結合器4が配置されている。

【0020】本実施例においては、屈折率分布型レンズとしてセルフオックスレンズ(商品名)6を用いている。セルフオックスレンズ6はその光軸中心線が光導波路基板Aの長手方向Xと一致するように配置され、さらに、セルフオックスレンズ6は透明接着剤で光導波路基板Aに接着されている。セルフオックスレンズ6は光導波路基板Aの端面1d(斜面)と同一傾斜角度を有する端面6aと光軸に対して直角をなす端面6bとを有している。セルフオックスレンズ6の端面6bには反射防止膜7が形成されている。なお、本実施例におけるセルフオックスレンズ6の光軸上屈折率は1.557、屈折率分布定数は0.059049である。

【0021】ニオブ酸リチウム基板の屈折率は約2.2であり、屈折率分布型レンズの一種であるセルフオックスレンズ6の屈折率は約1.6である。式(1)に従えば、角度 $\theta_1$ を5度以上とすると角度 $\theta_2$ は6.88度以上、角度 $\theta_1$ を13度以下とすると角度 $\theta_2$ は9.42度以下とすればよいことになるが、光導波路基板A及びセルフオックスレンズ6の端面1d、端面6aの加工の容易さを考慮して、角度 $\theta_1$ は8度、角度 $\theta_2$ は5.8度に設定した。このように設定された端面1dを有する光導波路基板Aから測定光Lが出射したとき、セルフオックスレンズ6で屈折及び集光を行った場合の集光特性を光線追跡法による計算機シミュレーションで検討した。

【0022】図5はセルフオックスレンズ6の光導波路基板側端面である入射側端面6aの角度を0度、被測定物側である出射側端面6bの角度を8度とした場合の焦点付近の光線を示しており、図6は入射側端面6aの角度を8度、出射側端面6bの角度を0度とした場合の焦点付近の光線を示したものである。ただし、このシミュレーションでは、光導波路端面から出射される測定光Lの広がり角を計算の容易さから実測値の0.05radではなく、0.2radとしたが、前述の操作によるシミュレーション結果の傾向は変わるものではない。図6の最良像面のずれが光軸方向で50 $\mu\text{m}$ 以下、測定光が最も集光されるビームウェストの大きさが3 $\mu\text{m}$ 以下であ

るのに対して、図5では最良像面のずれが光軸方向で300 $\mu\text{m}$ 程度ばらついており、ビームウェストの大きさも10 $\mu\text{m}$ 以上に広がっている。この結果は屈折率分布型レンズの入射側端面を斜面に加工する方法の有用性を示している。

【0023】前述したように、セルフオックスレンズ6の出射側端面6bは光軸と垂直に形成されているため、出射側端面6bには反射防止膜7が形成されている。出射側端面6bからは反射防止膜7の特性の限界により0.2%(-27dB)程度の反射戻り光を生じる。信号光の検出限界が参照光に対して-50dBとすると、この反射戻り光光量が全て光導波路に結合した場合には、測定精度を大きく劣化させることになるが、出射側端面6bから0.6~1.4mm程度のワーキングディスタンスで測定光Lが集光されるピッチ(レンズ内の光の蛇行周期)が0.4~0.45のセルフオックスレンズ6を集光系に用いると、図7に示すように、反射戻り光はセルフオックスレンズ6内で一度集光された後、拡散光として光導波路端面に到達するため、光導波路2、3に結合する反射戻り光光量は測定に影響を与えない程度に抑制される。

【0024】光導波路基板Aの長手方向Xの両端面1c、1dには端面ブロックと呼ばれる端面保護用の部品を装荷して両端面1c、1dの傾斜角度が8度になるように研磨した。端面1cには光信号の入出力用光ファイバーを接続した。この入力用光ファイバーにLD光源を入射し、傾斜角度8度の端面1dから出射する光強度を測定したところ、50 $\mu\text{W}$ 程度の測定光出力が確認できた。

【0025】次に、長さ11mm(ピッチ0.42)のセルフオックスレンズ6を光導波路基板Aの端面1d(傾斜角度8度)に接着した。セルフオックスレンズ6の位置合わせは顕微鏡で観察して行ったが、光導波路基板Aとセルフオックスレンズ6とを密着させるためには長手方向Xに垂直な方向の位置合わせだけで十分である。接着剤には紫外線硬化樹脂を用いた。紫外線硬化樹脂の屈折率は1.5程度であり、接着剤とレンズの境界面での反射は屈折率差が小さいため、ほとんど無視することができる。光導波路基板Aと接着剤の境界面での透過率Tは理論的には式(2)で計算でき、約96.4%となる。

$$T = 1 - (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2 \quad (2)$$

式(2)において、 $n_1$ は光導波路基板の屈折率、 $n_2$ は紫外線硬化樹脂の屈折率である。反射防止膜7を設けないニオブ酸リチウム基板端面における透過率は約86%であるから、光導波路基板Aとセルフオックスレンズ6とを密着させ、透明な接着剤で接着することにより、約10%の改善が図れる。実際には、測定光Lは往復で光導波路基板Aと接着剤との境界面を透過するため、約20%の改善を図ることができることになる。

【0026】光導波路基板Aの端面1cに望む光導波路2には光ファイバーによりレーザ光が入力され、他方、光導波路3からは干渉光が光ファイバーにより測定装置に導かれるようにした。次いで、ボンディングで変調用電極8に電氣的結線を行った。さらに、光導波路基板A及びセルフオックスレンズ6を機械的な衝撃から保護するために光導波路基板A及びセルフオックスレンズ6の全体をステンレス製ケースに収納した。この場合、両者を密着させるため位置合わせの方向は一方向のみでよい

ため、高い加工精度を必要としない安価なケースで十分であった。

【0027】このように作製した光導波路型変位センサで位相変調を行い、被測定物の変位を測定したところ、測定精度が数nm以下と良好なものであった。このことは実験的にも、不要な反射戻り光が十分に抑制されていることを示唆するものである。さらに、集光特性を評価するために、ニオブ酸リチウム基板上に形成したライン／スペースを測定し、 $4\mu\text{m}$ 以下の横分解能があることを確認した。これは、測定光が $4\mu\text{m}$ 程度に効果的に集光されており、本発明により $4\mu\text{m}$ 以下の横分解能特性が実現されたことを示している。

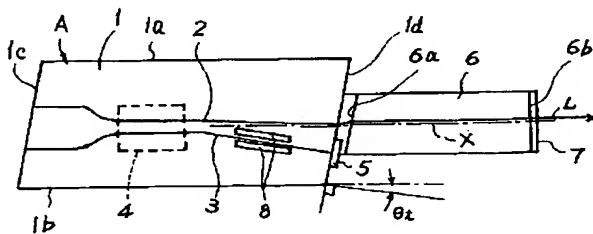
#### 【0028】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によって、集光特性すなわち横分解能に優れた高精度の光導波路型変位センサを提供することができる。さらに、本発明に係る光導波路型変位センサにおいては、光導波路基板と屈折率分布型レンズの両斜面に反射防止膜を施す必要はなく、安価な製造コストで測定光の減衰を低減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光導波路型変位センサの一実施例

【図1】



の概略的な断面図である。

【図2】図1における光導波路基板と屈折率分布型レンズとの接合部分の拡大説明図である。

【図3】光導波路基板端面（斜面）の法線に対する光導波路の角度 $\theta_1$ を変化させたときの反射戻り光の変化を示すグラフである。

【図4】屈折率分布型レンズのプリズム効果による収差を表すグラフである。

【図5】セルフオックスレンズの出射面を8度に研磨した場合において、光導波路から斜めに出射する光線のセルフオックスレンズによる集光特性の光線追跡法による計算機シミュレーションを示すグラフである。

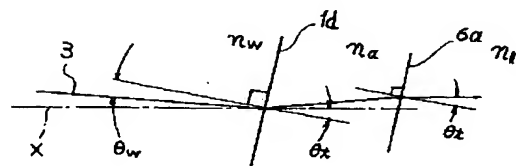
【図6】セルフオックスレンズの入射面を8度に研磨した場合において、光導波路から斜めに出射する光線のセルフオックスレンズによる集光特性の光線追跡法による計算機シミュレーションを示すグラフである。

【図7】光軸に対して垂直なセルフオックスレンズ端面からの反射戻り光の光線追跡法による計算機シミュレーションを示したグラフである。

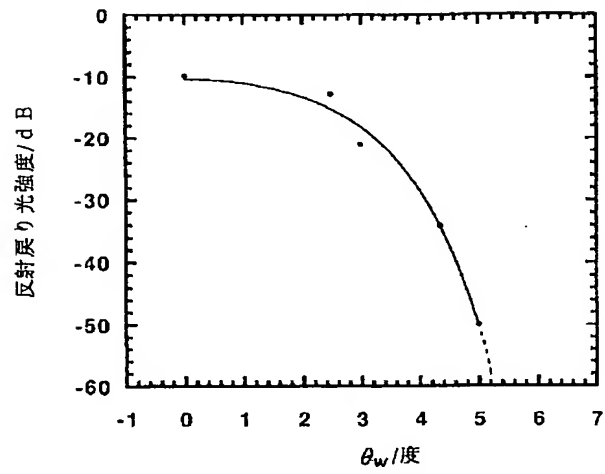
#### 【符号の説明】

A	光導波路基板
1	電気光学結晶基板
1 a, 1 b, 1 c, 1 d	光導波路基板端面
2, 3	光導波路
4	方向性結合器
5	反射鏡
6	セルフオックスレンズ
6 a, 6 b	セルフオックスレンズ
7	反射防止膜
L	測定光

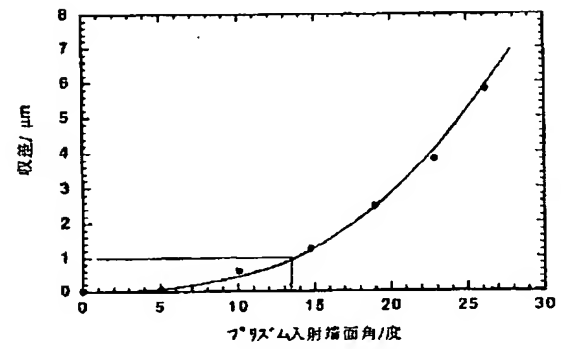
【図2】



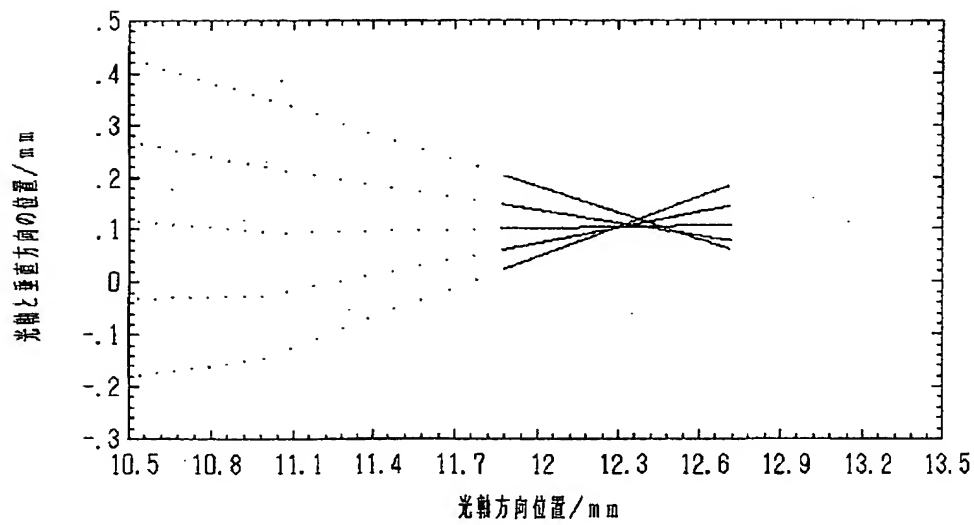
【図3】



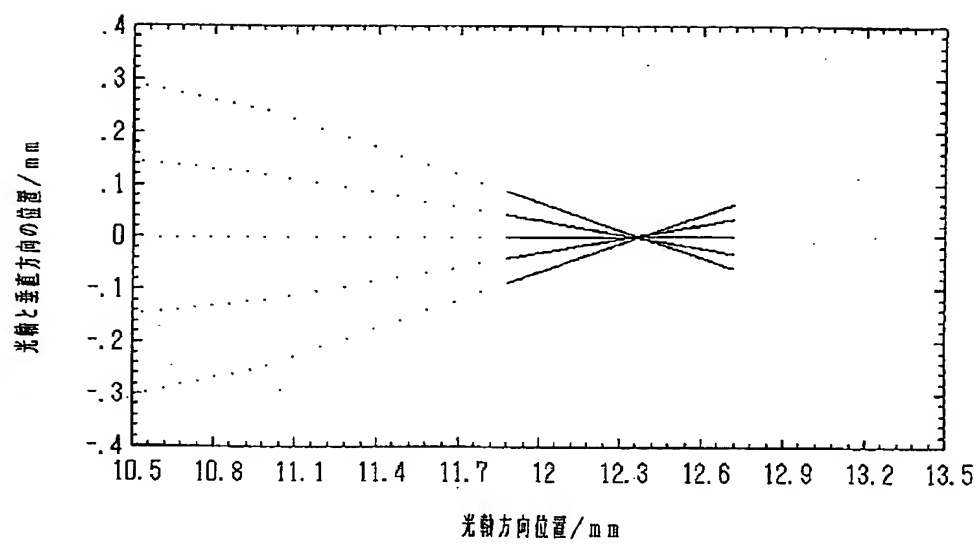
【図4】



【図5】



【図 6】



【図 7】

